

# Ferroélectricité à l'échelle nanoscopique

Autor(en): **Lichtensteiger, Céline / Triscone, Jean-Marc**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles =  
Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **96 (2007)**

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308875>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Ferroélectricité à l'échelle nanoscopique

CELINE LICHTENSTEIGER et JEAN-MARC TRISCONÉ

DPMC, Université de Genève, 24 Quai Ernest-Ansermet, CH-1211  
Genève 4, Suisse

*Dans ce bref article, une vue générale des activités de recherche sur la ferroélectricité à l'échelle nanoscopique poursuivies à Genève est présentée.*

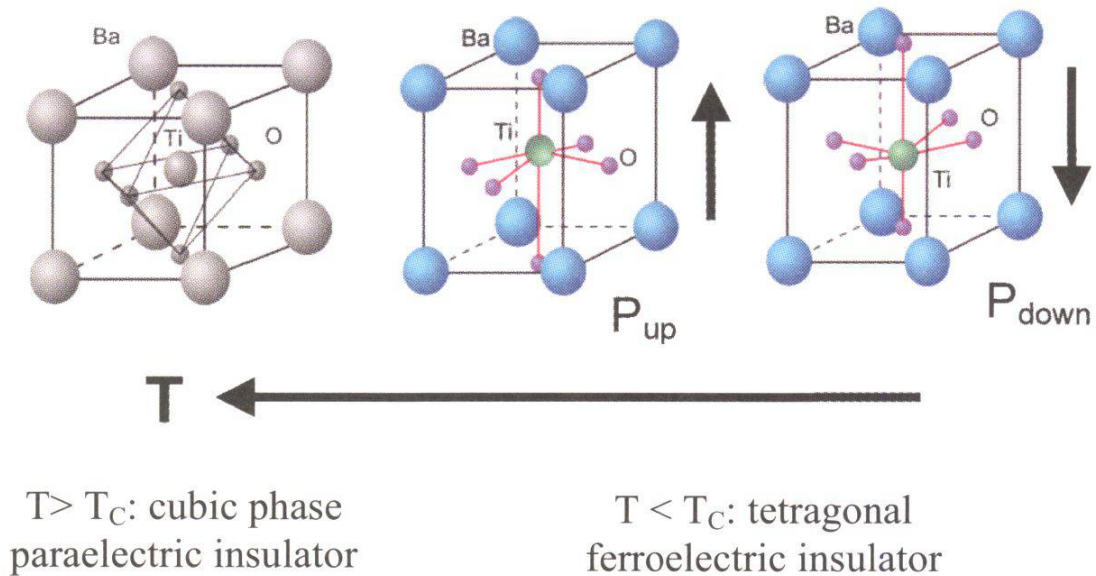
## **But général :**

Ces recherches sont axées sur l'étude de la croissance et de la physique de structures épitaxiales à base d'oxydes aux propriétés chimiques proches, mais aux propriétés électroniques très différentes.

Nous nous intéressons en particulier à l'étude de matériaux ferroélectriques sous la forme de couches minces et à des matériaux artificiels à base d'isolants diélectriques et ferroélectriques, construits couche par couche. Un autre volet de nos activités concerne l'étude de structures combinant des perovskites ferroélectriques et des oxydes à fortes corrélations électroniques, tels les supraconducteurs à haute température critique.

**Dans la direction des matériaux ferroélectriques, les buts recherchés sont :**

D'une part de développer une compréhension fondamentale de ces matériaux à une échelle nanoscopique et, d'autre part, d'utiliser les développements dans la préparation de films épitaxiés pour réaliser des matériaux artificiels aux propriétés nouvelles. Un autre défi consiste à transférer les technologies développées sur silicium pour permettre une large exploitation des propriétés exceptionnelles de ces matériaux. Le type de matériaux étudiés est illustré sur la **Figure 1**.



**Figure 1** : Les matériaux ferroélectriques étudiés sont des perovskites tels  $\text{BaTiO}_3$ . Au-dessus d'une température critique, le matériau est cubique et paraélectrique. Au-dessous de  $T_C$ , il est tétragonal, non-central symétrique, et une polarisation électrique apparaît, son orientation peut-être modifiée par un champ électrique.

**Les défis dans cette direction de recherche ont fait l'objet d'une revue :**

[1] "*Ferroelectricity at the nanoscale : Local polarization in thin films and heterostructures*", C.H. AHN, K. RABE, and J.-M. TRISCONI, *Science* **303**, 488 (2004).

### Ferroélectricité à l'échelle nanométrique

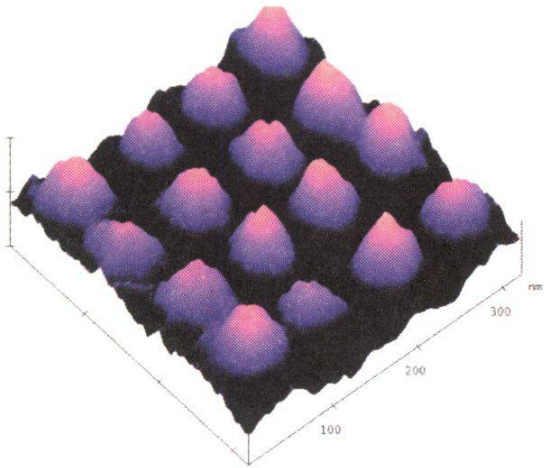
Les ferroélectriques sont des matériaux qui présentent deux "états électriques" distincts et stables (polarisation). Il est possible, sous application d'un champ électrique, de passer de l'un à l'autre. D'où un lien immédiat avec les mémoires d'ordinateur qui permettent de basculer d'un premier état (appelons-le « 1 »), à un second (le « 0 »), générant ce que l'on appelle un bit d'information. Les matériaux ferroélectriques suscitent, de plus, beaucoup d'intérêt de par leurs autres propriétés remarquables : en effet, ils sont également pyroélectriques, leur polarisation change lorsqu'on les soumet à des différences de températures (utilisation dans des détecteurs infrarouges), et piézoélectriques, c'est-à-dire qu'ils génèrent une tension lorsqu'on les soumet à des contraintes mécaniques (étincelles dans les briquets électroniques ou allume-gaz) et inversement (moteurs piézoélectriques permettant un posi-

tionnement ultra-précis). Des mémoires ferroélectriques permettent de stocker des données de manière permanente, même en l'absence de source de tension, ces mémoires sont dites « non volatiles ». Elles sont basées sur la capacité du matériau à conserver la polarisation (négative ou positive) appliquée *via* un champ électrique qu'on retire ensuite. Les ferroélectriques se développent dans l'électronique : cartes de crédit, cartes SIMS de téléphones portables, cartes d'accès sécurisées, cartes de paiement..., toutes les « smart-cards », désormais si familières, font partie des applications, actuelles ou futures de ces matériaux fascinants.

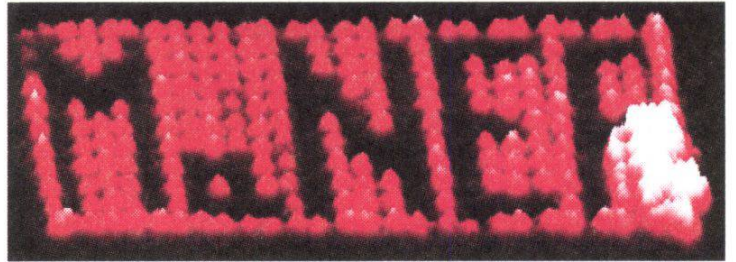
Afin de permettre une miniaturisation de plus en plus poussée de ces dispositifs électroniques, la compréhension du comportement des matériaux ferroélectriques à l'échelle nanométrique (un nanomètre correspond à un milliardième de mètre) est indispensable et pose des questions fondamentales et des défis technologiques majeurs. Nombre de question-clés sont aujourd'hui étudiées à Genève. Est-il possible d'avoir un matériau aussi mince qu'une dizaine d'atomes et qui présente toujours les mêmes propriétés ? Ces matériaux peuvent-ils être incorporés sur une base connue et largement utilisée aujourd'hui en électronique : le silicium ? Jusqu'à quelle précision peut-on contrôler la polarisation à l'échelle nanométrique ?

### **Manipulation des domaines ferroélectriques à l'échelle nanométriques - Mémoires à très haute densité**

Sur la question des mémoires ferroélectriques non-volatiles, des progrès spectaculaires récents ont été faits (voir article de revue dans Science [1]). La stabilité des deux états électriques de ces matériaux combinée avec une technique de haute résolution que représente le microscope à force atomique (AFM) rend ces systèmes très attrayants. En envoyant des impulsions électriques sur la pointe métallique d'un AFM au-dessus d'une surface préparée, nous pouvons créer des rangées de domaines non-volatiles, adressables individuellement et complètement réversibles, avec des densités atteignant 40 Gbit/cm<sup>2</sup>. Pour comparaison, l'Encyclopédie Universalis tient sur six CD de 700 Mo, alors qu'en utilisant les mémoires ferroélectriques, cette même Encyclopédie Universalis tiendrait sur la surface d'un carré de 9mm de côté.



**Figure 2 :** Réseau écrit avec une densité de 18Gbit/cm<sup>2</sup>.



**Figure 3 :** Réseau écrit avec une densité d'environ 5 Gbit/cm<sup>2</sup> représentant le mot MaNEP, Pôle National de Recherche centré à Genève. On pourrait placer ce mot dix-sept fois dans le diamètre d'un cheveu.

## Matériaux artificiels aux propriétés nouvelles

Dans ce domaine, nos recherches visent à créer artificiellement des composés aux propriétés inédites, en concoctant des "multicouches" faites de couches ultra-minces – quelques nanomètres d'épaisseur à peine – alternant ferroélectrique et isolant.

Une des grandes questions posées par la course à la miniaturisation électronique vaut pour les ferroélectriques aussi : jusqu'à quel point leur propriété continue-t-elle à exister à des échelles si minuscules ? Sur la base des connaissances actuelles, on pourrait s'attendre à ce qu'elle décroisse en fonction de la quantité de ferroélectrique présent dans le composé... jusqu'à disparaître complètement.

Or, un comportement inattendu a récemment été mis en lumière. Nos études montrent que des multicouches contenant des couches ferroélectriques (ici du titanate de plomb) de plus en plus fines ont bien commencé par montrer la décroissance attendue de la polarisation liée à la ferroélectricité... mais au lieu de disparaître, celle-ci est remontée en flèche pour les couches les plus minces ! Ce comportement inattendu du matériau démontre l'existence d'un nouveau phénomène que nous essayons de modéliser.

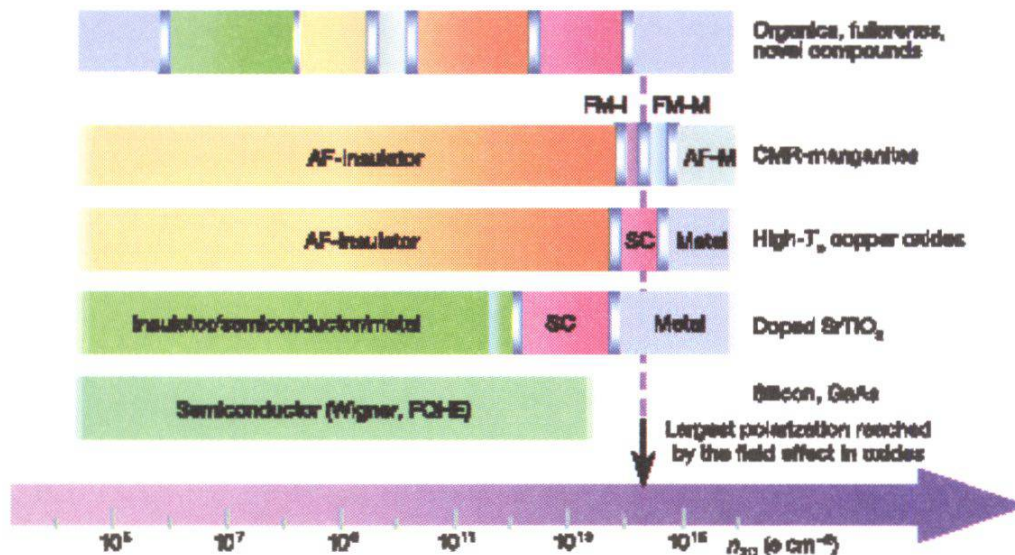
Ces résultats prouvent en outre que l'environnement dans lequel se trouve le ferroélectrique - c'est-à-dire de quoi sont faites les autres couches de la multicouche, soit dans ce cas du titanate de strontium - est d'une importance capitale.

Tout cela montre qu'à l'échelle nanométrique, la matière peut manifester des comportements nouveaux et très prometteurs, notamment pour l'électronique miniaturisée de demain. Ces résultats ont fait l'objet d'une publication dans la revue internationale « Physical Review Letters » [2].

[2] “*Unusual Behavior of the Ferroelectric Polarization in PbTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> Superlattices*”, M. DAWBER, C. LICHTENSTEIGER, M. CANTONI, M. VEITHEN, P. GHOSSEZ, K. JOHNSTON, K. M. RABE and J.-M. TRISCONE, Physical Review Letters **95** (17) 177601 (2005)

**Dans la direction des structures combinant matériaux ferroélectriques et supraconducteurs, les buts recherchés sont :**

De réaliser des structures électroniques contrôlées par l'état de polarisation du ferroélectrique. Comme dans un transistor à effet de champ classique, l'idée est d'utiliser un champ électrique pour moduler les propriétés électroniques d'un supraconducteur (ou autre matériau à fortes corrélations électroniques). L'originalité ici est d'utiliser la polarisation non-volatile et réversible d'un ferroélectrique comme source de champ. Un des points fascinants est le fait que tous les matériaux à fortes corrélations sont très sensibles à de nombreux paramètres, entre autres, au nombre de porteurs (qui est modulé par le champ électrique). Comme indiqué sur la **Figure 4**, suivant le nombre de porteurs, ces matériaux peuvent être isolants, métalliques ou supraconducteurs. Un contrôle de ces propriétés par effet de champ ouvre des perspectives remarquables tant du point de vue fondamental que du point de vue appliqué.



**Figure 4 :** Comportement de différents matériaux en fonction de leur densité de porteurs (à 2D). Comme on le voit, par exemple pour les oxydes supraconducteurs, le matériau peut-être isolant, métallique ou supraconducteur.

**Les défis dans cette direction de recherche ont également fait l'objet d'une revue :**

[3] “*Field effect in correlated oxides*”, C.H. AHN, J.-M. TRISCONE, and J. MANNHART, *Nature* **424**, 1015 (2003).